

音圧指示に協調するパーソナル知能機械に関する 基礎的研究

勘久保 広一*

Fundamental Study of a Personal-Intelligent Machine Cooperating with Instructions by the Sound Pressure

Kouichi Kankubo*

Abstract

An interface between human and an intelligent machine in the same daily space, in which the intelligent machine cooperates with instructions by the sound pressure of ordinary human voice, is considered here. The intelligent machine's cooperative motion is required to take account of the human's state of mind to serve effectively as his or her companion. In this paper, the patterns of the intelligent machine motion are determined by adopting transfer functions that consider sound pressure directing operation as input, the target speed of intelligent machine as output. By changing transfer functions or adjustable parameters, different human psychological influences are expected. Motion properties of the intelligent machine, which are appropriate for human states of mind, are examined using SD method. As a result, it is clarified that human emotions to the intelligent machine motion are represented by the factor of "mild", "lively", "comfortable" and "interesting". In addition, two patterns of transfer function and parameter that can form desirable movements considering human psychology are identified.

1. 緒言

高福祉、高齢社会において、福祉や医療分野での身体障害者の機能代替や高齢者の介護、および就労支援等の目的で人間と日常空間を共有し、しかも各個人をユーザーとするような、ロボットに代表される共存型知能機械の実現が望まれている^[1-3]。

例えば、部屋の中で人間のためにものを取って来る、人間の代わりにものを運ぶ、片づけをする、といったパーソナルな知能機械を想定した場合、人間が知能機械に対して行う指示方法は人間にとって負担になってはならない。また、その指示動作に、知能機械は違和感のない人間心理に好ましい応答特性を示す必要がある。

人間が指示を出し、それに従って動作を行うロボットの研究が主に生活支援の目的で種々行われている^[4-7]。これらの先行研究は、主に指示によって、ある定められた動作目的のみが与えられ、その動作目的を達成するに至るロボットの運動特性にはあまり重点が置かれていないようである。

しかしながら、上述のような人間の身近な環境で活躍する知能機械を考えた場合、動作目的を達成する知能機械の運動特性は、人間心理に強く影響すると思われる。そのため、それらの運動特性を成形可能とするような指示方法が望まれる。

また、人間と身近な空間（同じ部屋等）において、人間のために身の回りのものを運ぶ、手渡すというようなタスクを行うパーソナルな知能機械は、生成する運動を予測しやすいものとするためにできるだけその構造を単純化し、日常生活で用いられる道具や機械の延長として位置づけられるものとなる必要がある。そして、指示による知能機械の運動を考えた場合、指示運動は知能機械のエンドエフェクタの運動に対応させることが、有効な手段のひとつと考えられる。

ここで、我々は独自に、18歳から40歳までの健全な男女80名（男女各40名）に対して、「人に指示を与える場合の手段を思いつくまま挙げてください」という内容の聞き取り調査を実施した^[8]。その結果、第一候補として調査対象者80名全員が「声によ

る指示」を、第二候補として77名が「手先による指示」を、第三候補として58名が「ジェスチャによる指示」を挙げた。このことから、人に指示を与える場合、まず声を出すことによって自分の意志を伝えようとしていることが分かる。

そこで、音声言語指示により動作目的を実現しようと試みている先行研究^[9,10]に目を向けると、最終的にはロボットの動作をプログラミングする必要があり、作業プログラムの蓄積がロボット普及の最大のポイントであることが指摘されている。このように音声言語による種々の動作目的を正確に指示することは困難が伴う。その上、生成されるロボット運動が人間心理に受け入れられるものとなるためには、動作目的に至る運動特性が重要であり、音声言語によりそれを正確に指示することもまた難しいと考えられる。

食事支援を想定した場合では、音声指示に従ってスプーンやフォーク、あるいはコーヒーカップ等を口元に持ってくる時、口という目標値への位置制御だけではなく、スプーンが口元に来るまでの応答特性に人間の感性を反映させる。また、寝たきりの人間が自分の音声で移動式のトイレやテーブル等の位置の変更を指示したり、自分の近くに移動させる指示を行う場合、移動する知能機械の応答特性に人間の感性を反映させる。このようなシステムが構築されれば、快適で、充実した生活実現の一役を担うことが出来ると思われる。

そこで、我々は、人間が自由に発声する、言語的意味を持たない声（例えば、“あー”と言う発声）の音圧を入力、それに追従運動する知能機械の目標速度を出力とする伝達関数を導入して知能機械の運動が生成されるというインターフェイスを提案する。このことによって、指示者が音圧を調整することにより、知能機械が動作目的に至る運動特性を成形することが可能となる。また、伝達関数の形および、そのパラメータ値を変化させることにより、指示運動に対する知能機械の応答特性に独特の滑らかさが現われ、異なる心理的印象を指示者に与える運動の生成が期待される。

本報告では、異なる伝達関数、およびパラメータのもと、被験者が音圧指示を行い、複数の知能機械の運動特性を生成する。それに対し、SD法を施すことにより、人間心理にとってより好ましい運動特性（伝達関数）を明らかにする。さらに、指示者の指示動作特性を明らかにし、その特性によって生成される知能機械の運動における特徴と人間心理の関係について検討する。なお、本研究では、知能機械の運動は被験者に対して左右方向の一次元運動とした。

2. 知能機械の運動の生成

人間にとって違和感がなく、人間心理に好ましい知能機械の運動特性を検討するため、人間の指示動作に追従する知能機械の運動特性を以下のように考えた。

(1) 指示動作に対する忠実な再現 これは人間の動きそのものの知能機械による再現である。人間が生成する滑らかな運動特性は人間心理に好ましい運動特性の候補の一つとして考えられる^[11,12]。この運動特性は人間の指示動作を直接知能機械に再現させることによって可能となる（表1におけるG10）。

次に、人間の指示動作に対して、その指示を受けた人間が物を動かしているような運動を再現させる目的で、人間の指示動作に対して、人間がその指示に従って物を移動させる場合の人間の制御特性を求めた。その結果、むだ時間が0.15sec、時定数が0.1secの一次遅れ要素と、むだ時間が0.1sec、減衰係数1、固有振動数10rad/secの二次遅れ要素の伝達関数で近似出来ることが分かった。しかしながら、これらの伝達関数を用いて予備実験を行った結果、被験者にとって、心理的に好ましい結果が得られなかったため、本報告ではこれらの伝達関数を採用しなかった。

(2) 人間の動特性を参考にしてのパラメータ、形を変化させたものの評価対象は人間ではなく、知能機械であるので、人間の伝達関数とは異なったパラメータや形のもので望ましいことも十分考えられる。ただし、人間の特性は滑らかであることが知られており、その最適解は人間の伝達関数と大きく異なったものとは考えにくい。そこで、まず人間の伝達関数のパラメータ値を基準に、予備実験を通じて異なる感情を励起するパラメータ値（表1におけるG11~G24）を選択した。また、むだ時間については左右方向^[8]で得られた結果と同じように、被験者にとって、心理的に好ましい結果が得られなかったため、本報告では省略する。

したがって、表1に示す9種類の伝達関数で生成される運動特性と人間心理の関係について心理評価により解析する。そして、その結果から提案

表1 伝達関数

$G_{10} = K$	$G_{11} = \frac{K}{0.1s + 1}$	$G_{12} = \frac{K}{0.2s + 1}$
$G_{13} = \frac{K}{0.3s + 1}$	$G_{14} = \frac{K}{0.4s + 1}$	$G_{21} = \frac{K}{(0.1s + 1)^2}$
$G_{22} = \frac{K}{(0.125s + 1)^2}$	$G_{23} = \frac{K}{(0.2s + 1)^2}$	$G_{24} = \frac{K}{(0.25s + 1)^2}$

した伝達関数の有用性と、本報告の目的を達成するような伝達関数のパラメータ値を検討する。

3. 実験

本報告では、人間にとってパーソナルな空間で、しかも人間の指示動作に従って運動する知能機械を対象としており、動きが単純で運動のみに注目できる一次元動作について検討する。

指示動作に従う知能機械の運動としては、左右運動と接近運動が考えられる。ロボットの左右および上下運動を客観的に評価した場合^[11,12]と接近運動を客観的に評価した場合^[13,14]では、人間は異なる感情を抱くことを示している。

知能機械の左右運動、上下運動および接近運動それぞれに関する研究は重要である。しかし、指示に対する知能機械に関する感性工学的研究は、まだほとんどなされていない。そこで、音圧指示によるパーソナルな知能機械の基礎的研究として本研究では、まず知能機械の左右方向の運動に着目する。

採用した上記の伝達関数に対して、人間の音圧に従って左右方向へ移動する知能機械運動が、人間心理にどのような影響を与えるかを明らかにするとともに、左右方向における人間の指示動作特性、および、知能機械運動と人間心理の関係について検討するため、一自由度知能機械を用いた心理評価実験を行う。

3. 1 実験装置

本報告で使用する実験装置の概要を図1に示す。知能機械を左右運動させるため右方向への移動用と左方向への移動用に、二つのマイクを使用した。二つのマイクを設置する場合、被験者にとってできる限り負担を少なくする目的で、顔を左右に振り声を発生することにした。また、できる限り周囲の雑音を消去し、効率よく音声を集音するためには被験者が左右に首を振ったとき、その正面にマイクがくる必要がある。そこで予備実験として被験者全員に対して、自然な感じで、しかも違和感なく顔を左右に振ったときの最大角度を測定した。その結果、最高角度約 170° 、最小角度約 60° であった。そのため、本実験では被験者の最小角度にマイクを設置した。すなわち、実験装置から 1200mm 離れた中央正面に座る被験者の顔の正面に対して左右それぞれ約 30° の方向から二つのマイクを向けている。知能機械を右に移動させたい場合は右のマイク、左に移動させたい場合は左のマイクに向かって自由に音声を出して前方の知能機械に指示を与える。

被験者が一方のマイクに向かって発声しているとき、もう一方のマイクに対してその音圧の影響をな

くす必要がある。そのため、最小限の音圧レベルを設定するため、予備実験として被験者全員に対して、一方のマイクに向かって自然で、自由な声を発声してもらい、このマイク周辺での音圧と、もう一方のマイク周辺の音圧を測定した。その結果、直接音圧を受けるマイク周辺では最大音圧レベルは約 63dB 、最小レベルは約 49dB であった。最大音圧レベルを持つ被験者がどちらか一方のマイクに向かって声を出しているとき、他方のマイクでの最大音圧レベルは約 30dB であった。この値以下の音圧を無視するためにこの値を集音レベルの最小閾位置とした。

つぎに、被験者の自然な発声音で知能機械を移動させる場合、その音圧をロボットの運動速度へ変換するとき、被験者にとって違和感がない速度に設定する必要がある。すなわち、表1の伝達関数の比例定数 K を求めるのである。そこで、上述した被験者全員の音圧測定値において、被験者ごとの音圧の平均値を算出し、その平均音圧値に対して、最小速度 100mm/sec から最大速度 1300mm/sec まで、 100mm/sec 毎に変化させた速度を対応させて、被験者の音声でロボットを動かし、それぞれの速度に対する速度の印象を評価した。評価する形容詞とその評価点は、非常に違和感がある -4 、やや違和感がある -3 、違和感がある -2 、違和感がない -1 とした。複数の種類の速度に対して評価 1 を示した場合はその平均速度を違和感がない速度とした。被験者ごとの比例定数 K を表2に示す。

人間の音圧指示に協調して運動する知能機械として、メガスラストモータ（NSK社製：最高速度 1800mm/sec 、有効可動範囲 1390mm 。以下、知能機械と称する）を用いる。この知能機械は予備実験の結果、人間の指示動作に対する追従誤差は平均 0.03% であり、人間の指示動作に充分追従することが確認できた。

指示器のレバーの移動位置に相当する電圧が指示器から出力され、その電圧はA/D変換器を介してパ

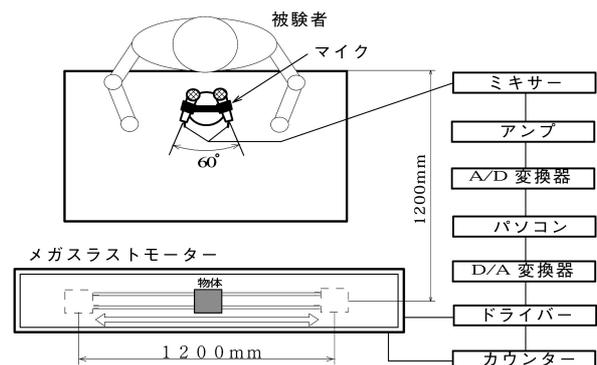


図1 実験風景

ソコン (NEC社製, クロック周波数400MHz) に入力される。音圧信号は, 2. で述べた伝達関数への入力となり, その出力を積分して知能機械への操作量が計算される。求められた操作量はD/A変換器, ドライバーを介して知能機械に入力され, 知能機械は人間が発声した音圧指示に対して表1に示す9種類の運動特性で追従する。なお, システムのサンプリングタイムは8msecである。

3. 2 心理評価

動きに対する心理評価として, 小川ら^[11]は, 機械の運動を種々の速度パターンのもとでSD法を用いて感情評価した。また, 山本ら^[15]は, 知能機械の人間回避運動に対してSD法を用いて心理的分析を行った。本報告は動きに対してSD法を用いて感情評価するという点で山本ら, 小川らの報告と一致しており, その心理評価法は参考にすべきである。

まず, SD法の一般的な手順である, 刺激に関係するできるだけ多くの形容詞対について各伝達関数で生成された知能機械の運動に対して7, または5段階で被験者が評価し, 得られた結果に因子分析を施し尺度の背後に存在する共通因子を求める。得られたSD評価結果について, 人間と知能機械の共存という観点から改めて解析し, 望ましい伝達関数のパラメータを検討する。

形容詞対の選定に当たっては, 動きに関係のある形容詞対を列挙するという観点から, 筆者ら^[8]の報告で選択された22個の形容詞対を採用し, 被験者はこれらの形容詞対に対して評価を行う。

3. 3 実験方法

実験を開始する前に, 22個の形容詞対を11個ずつ二等分した評価用紙2枚を被験者に配布し, 記入方法について説明した。そして以下のように実験を実施した。

- (1) 図1に示すように, 知能機械の正面に正対してイスに座り, 左右にあるマイクの高さを調節する。声の出し方は予備実験と同様にとの指示をした。
- (2) 被験者は伝達関数毎に12sec間指示動作を行う。この動作を二回繰り返す。一回終了毎にそれぞれの形容詞対の評価を行う。被験者が希望すれば, 何度でも指示動作を繰り返すことができる。
- (3) 知能機械の静止位置, 精度および動作時間等の制約は設けず, 自由に声を出して知能機械を左右に動かす。

上記(1)については, 被験者に精神的, 肉体的負担を与えないためである。(2)は形容詞対の多さによる被験者への精神的負担を軽減することを目的としている。

(3)については, 日常生活ではものを移動する場

合, 多くはある程度の位置決め動作が行われている。しかし本報告は基礎的な研究であるため, 位置決め精度を要求する場合については今後の課題とし, 静止位置, 精度等が動作に与える影響は考慮する必要のない自由な指示動作を行ってもらおう。

本報告では, 知能機械に搭載して移動させる対象物は, 家庭内で健常者が片手若しくは両手で負担無く移動させることが出来る程度の大きさの物体を想定しているため, 一辺が150mmの立方体とした。

物体の色に関しては, 被験者は物体の動きに注目する必要があるため, 物体が見やすく, 目の疲れにくさを考慮し, 黄緑色^[16]としている。

4. 実験結果および考察

4. 1 SD法による心理的評価

以上のような条件の下で, 音声での会話が正常に出来る19歳から20歳の男子学生50名に対し心理評価を行った。各形容詞対の評価方法は, 一例として「速い-遅い」を取りあげると, “非常に速い-速い-どちらでもない-遅い-非常に遅い”であり, 望ましい項目に○を入れる。形容詞の評価点として, 非常に速い-5, 速い-4, どちらでもない-3, 遅い-2, 非常に遅い-1として各形容詞対について集計した。使用した22項目の形容詞対に対する被験者の評点平均値の中で, 特徴があり, 9個の伝達関数を代表すると思われる5個の伝達関数における評点平均値を図2に示す。

図2から, G13は飽きない, 繊細な, 力強い等の形容詞対が平均値以下であるが, その他全ての形容詞対で評価が高いことが認められる。

G23は全ての形容詞対で平均値以上であり, 全形容詞対の評価点を総合した平均値は全伝達関数中最

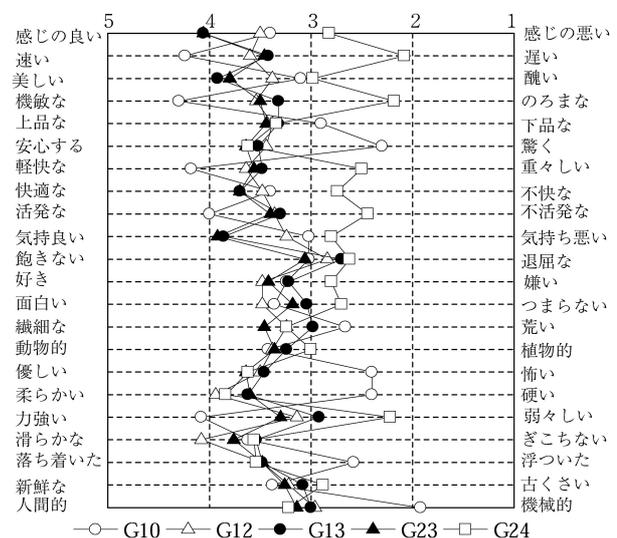


図2 評定平均値

高であった。また、これらの伝達関数は感じの良い、美しい、気持ち良い等の形容詞対において、他の伝達関数と有意な差（平均値のt検定，有意水準5%）が認められた。

G10は速い，機敏な，軽快な，活発な，力強い等の形容詞対における評価が高く，他の伝達関数と有意な差（平均値のt検定，有意水準5%）が認められた。しかし，安心する，優しい，柔らかい，落ち着いた，人間的等の形容詞対では，逆に評価が低く，他の伝達関数と有意な差（平均値のt検定，有意水準5%）が認められた。

一方，G12においては，速い，軽快な，柔らかい，滑らかな等の形容詞対における評価が高いが，他の伝達関数と有意な差は認められない。しかし，飽きない，人間的等の形容詞対では評価は低いことが分かる。

最後にG24では多くの形容詞対での評価が低い（形容詞対の平均値が2.94）。しかも，感じの良い，速い，機敏な，軽快な，快適な，活発な，力強い等の形容詞対で他の伝達関数と有意な差（平均値のt検定，有意水準5%）が認められた。

4. 2 因子分析による心理評価

実験結果に基づき，因子分析を行った。分散共分散行列の固有値の中で1より大きい因子が4個存在したため，因子数を4として主因子法を適用し，因子負荷量を求め，さらに各因子の解釈を容易にするためにバリマックス法による直交回転を行っている。結果を表3に示す。

表3において，第1因子の形容詞対から，第1因子は「温和」に関する因子であると言える。次に，

第2因子の形容詞対から，第2因子は「快活さ」に関する因子であると言える。第3因子の形容詞対から，第3因子は「興味」に関する因子であると言える。最後の第4因子の形容詞対から，第4因子は「心地よさ」に関する因子であると言える。

指示に従って，物体を搭載した知能機械が指示者の目の前で左右に移動する場合，人間心理に好ましい運動特性となるためには，指示者がその知能機械に対してどのような動きを望んでいるのかを知ることが重要である。そのため，我々は独自に，被験者50名に対して，使用した全形容詞対について以下のようなアンケート調査を行った。「今回の実験を通じて音圧指示に従う知能機械がどのような動きをすることが望ましいですか。次の形容詞対についてそれぞれ回答して下さい」という内容の評定尺度法に基づくアンケートである。各形容詞対の評価方法は，一例として「速い-遅い」を取りあげると，“速い方が望ましい-やや速い方が望ましい-どちらでもない-やや遅い方が望ましい-遅い方が望ましい”であり，望ましい項目に○を入れる。形容詞の評価点として，速い-5，やや速い-4，どちらでもない-3，やや遅い-2，遅い-1として各形容詞対について集計した。その結果を表4に示す。

この表から分かることは，音圧指示によって物体を搭載した知能機械が指示者の前で左右に移動する場合，先ず第1に心地よさ（第4因子）を持った動きが望ましく，次に温和な（第1因子）動きをし，なおかつ興味（第3因子）を持つ動きを望んでいることを示している。快活さに関しては他の3つの因子と比較してその要望度はあまり高くないものの，ある程度の快活さは望んでいるものと思われる。

表3 因子分析結果

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Communality
柔らかい-硬い	0.793	-0.196	0.048	0.098	0.679
優しい-怖い	0.776	-0.161	0.061	0.133	0.649
落ち着いた-うわついた	0.670	-0.134	0.015	0.187	0.503
安心する-驚く	0.631	-0.091	0.018	0.351	0.530
繊細な-荒い	0.589	0.071	0.298	0.116	0.454
滑らかな-ぎこちない	0.547	0.205	0.211	0.091	0.394
上品な-下品な	0.537	0.097	0.202	0.383	0.485
人間的-機械的	0.535	-0.246	0.336	0.105	0.470
機敏な-のろまな	-0.182	0.838	0.234	0.142	0.810
活発な-不活発な	-0.076	0.819	0.190	0.141	0.732
速い-遅い	-0.208	0.759	0.272	0.114	0.707
軽快な-重々しい	0.100	0.757	0.222	0.178	0.664
力強い-弱々しい	-0.248	0.600	0.313	0.075	0.524
快適な-不快な	0.285	0.511	0.155	0.499	0.615
面白い-つまらない	0.066	0.284	0.765	0.122	0.686
好き-嫌い	0.289	0.240	0.619	0.282	0.604
新鮮な-古くさい	0.225	0.185	0.584	0.162	0.452
飽きない-退屈な	0.129	0.220	0.554	0.225	0.422
感じの良い-悪い	0.218	0.137	0.217	0.727	0.642
気持ちよい-悪い	0.277	0.188	0.206	0.713	0.663
美しい-醜い	0.220	0.197	0.187	0.699	0.610
動物的-植物的	0.071	0.199	0.422	0.054	0.226
Percent of communality (%)	17.571	34.407	45.991	56.917	

表4 被験者が望む動き

第1因子 (温和)		第2因子 (快活さ)	
形容詞	評価点	形容詞	評価点
柔らかい	4.6	機敏な	3.52
優しい	4.96	活発な	3.54
落ち着いた	4.96	速い	3.16
安心する	4.96	軽快な	3.98
繊細な	4.48	力強い	3.74
滑らかな	4.5	快適な	4.84
上品な	3.94	第4因子 (心地よさ)	
人間的	4.74	形容詞	評価点
第3因子 (興味)		感じの良い	5
形容詞	評価点	気持ちよい	5
面白い	4.72	美しい	5
好き	5	その他	
新鮮な	3.46	形容詞	評価点
飽きない	4.22	動物的	2.84

このような点をふまえ、望ましい伝達関数のパラメータを決定するために、それぞれの因子における因子得点分布を調べる。

9種類の伝達関数の中で因子得点分布の拡がりに特徴があるものが、5種類存在した。それらに関して、第1因子と第4因子の因子得点分布を図3に示す。

図3において、第1因子(温和)をX軸、第4因子(心地よさ)をY軸とし、被験者の因子得点をプロットしたものである。図中の破線は全測定中80%の測定値が存在する信頼楕円を表している。

まず、最も重要な因子である「心地よさ」の度合いを示すY軸では、正方向に因子得点が分布することが望ましい。2番目に重要な「温和」に関しても、「心地よさ」と同様にX軸の正方向に分布することが望ましい。このような観点から図3を考察してみると、他の伝達関数と比較してG13, G23がこれらの条件を満たしていることがわかる。

なお、第1因子と第3因子、第3因子と第4因子の因子得点分布図からは、それぞれの伝達関数の特徴はある程度は認められたものの、第1因子と第4因子の因子得点分布ほど、人間心理に好ましいと判断出来る明確で顕著な違いを持つ伝達関数を見出す

ことは不可能であった。

これらのことから、人間の指示動作をG13, G23の伝達関数を通して音圧信号を波形整形することで、目的の運動特性が得られると期待される。伝達関数G13は時定数0.3secの一次遅れ要素、伝達関数G23は減衰係数1、固有振動数5 rad/secの二次遅れ要素である。このように形の上では異なった二つの伝達関数であるにもかかわらず、共に人間に対して心理的に好ましい動きを生成している。そこで、この要因を解明する必要がある。

4.3 運動特性による検討

前節で述べたように、形の異なる二つの伝達関数が共に人間に対して心理的に好ましい動きを生成している原因を解明することを目的とし、50名の被験者の実験中の音圧分布を測定した。典型的な音圧実測値を図4(実線)に示す。ただし図では、時間に関しては動作時間で、速度に関しては実測値の最大速度で正規化している。

測定された音圧分布の時系列変化には、すべての被験者において同様の傾向が見られ、図のように発声開始区間(P1)、発声中(P2)、発声終了区間(P3)の三つの区間に分けられることがわかった。区間P1では、まず急激な音圧増加が見られる。そして、その後は緩やかに音圧最大値に至っている。区間P2である発声中の音圧は、振動的ではあるが時間の経過と共に僅かながら直線的に減少する傾向にあるといえる。区間P3では、まず緩やかに減少し始め、その後急激に減少し、最後は再び緩やかに減少して

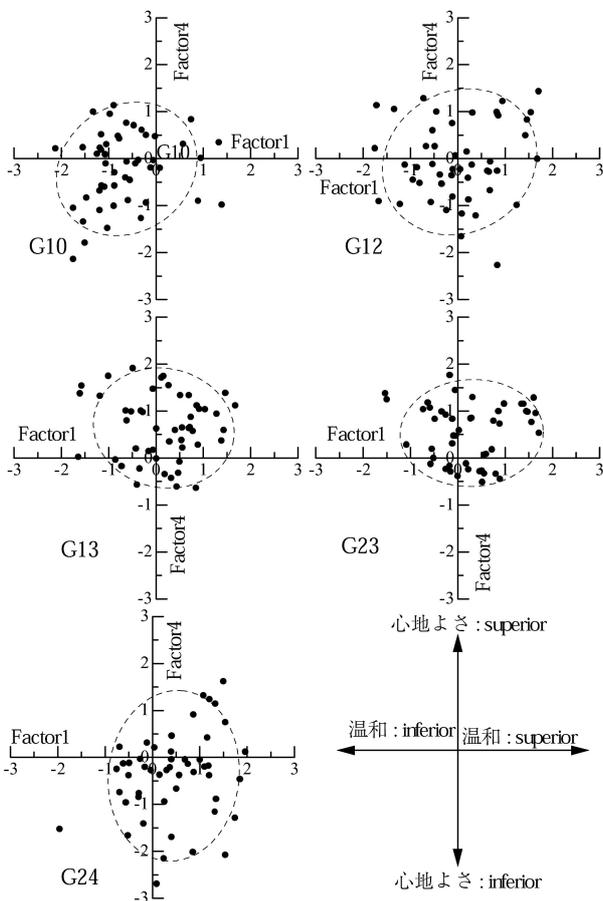


図3 第1, 第4因子の得点分布

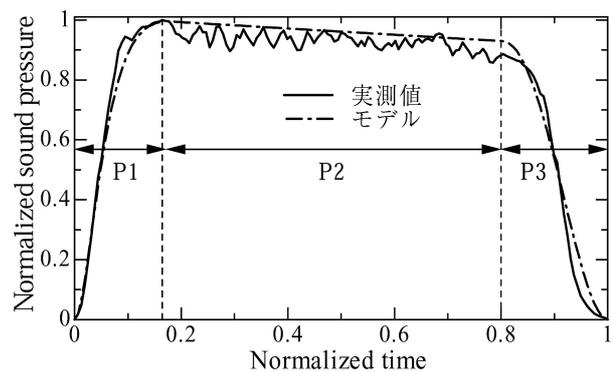


図4 音圧指示パターンとモデル

いる。

これらのことを考慮して、音圧のモデルを作成すると、区間P1では式(1)で示されるようなサイバネティック・モーションと呼ばれる小川らの実験公式^[17]である、速度のピーク位置が動作前半に位置し、後半が緩やかに減少する速度分布の動作前半の部分と良く一致した。

$$v(\tau) = k(\tau/a)^b \exp(-c\tau - d\tau^2) \quad \dots (1)$$

ここで、 τ は正規化された時間。 $a=0.05861, b=2.053, c=22.07, d=-30.22, k=1.992$

区間P2は式(2)で示されるような一次式で近似できた。

$$v(\tau) = -0.1118\tau + 1.019 \quad \dots (2)$$

区間P3では、式(3)で示されるような人間が手先を単純に2点間移動させた場合の速度分布として得られる躍度最小モデル^[18](速度のピーク位置が動作時間の中央に位置する釣り鐘型速度パターン)の動作後半の部分と良く一致した。

$$v(\tau) = 625.8(0.6076 - \tau)^2(1 - \tau)^2 \quad \dots (3)$$

図4でモデルを一点鎖線で示す。被験者50名の実測値とモデルとの相関係数は0.896以上(50名の平均値は0.963)であった(有意水準5%で有意に相関あり)。このように、提案したモデルは被験者の音圧指示変化を精度良く再現することを確認した。今後はこのモデルを使用して検討を進める。

式(1), (2), (3)で近似された速度波形を知能機械への模擬入力として与え、それぞれの伝達関数における知能機械の応答速度を求めた。それらの結果について、時間に関しては模擬入力の動作時間で、速度に関しては模擬入力の最大速度で正規化した結果を図5に示す。

図5から伝達関数G13, G23間の時間応答における有意差(有意水準5%のt検定)はなく、これら二つの伝達関数とそれ以外の伝達関数との間ではすべてに有意差があった。ここで、図5を参考にしながら

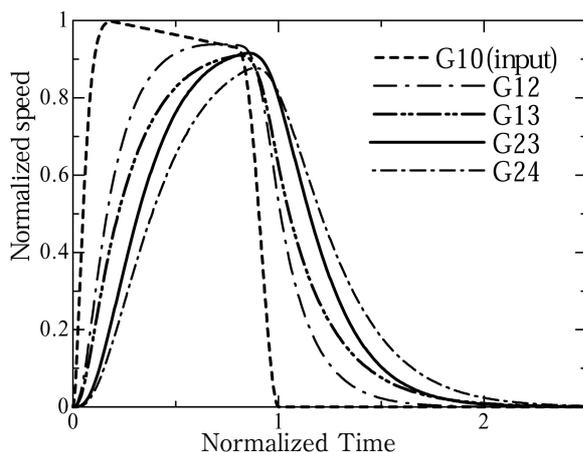


図5 模擬入力に対する知能機械の応答速度の比較

ら各伝達関数の応答特性を検討する。

図5を見て分かるように、伝達関数G13の最大速度は、音圧指示の最大値を100%としたときの91.0%、G23のそれは91.5%であり、最大速度に関して二つの伝達関数は殆ど同じ様な特徴を持っていることがわ

かる。最大速度の割合がこの範囲よりも大きな値の伝達関数(G10, G12)では、快活さの因子が比較的強く表れているが、温和の因子は弱くなっている。しかし逆に、最大速度の割合がこの範囲よりも小さな値の伝達関数(G24)では、温和の因子が強く表れているが、快活さの因子は弱くなっている。一方、速度ピーク位置に関しては、特徴を把握できるような顕著な相違は見られなかった。

このことから、本報告の目的を達成するための運動特性を生成する主要因は、最大速度の割合(音圧指示の最大値の91.0~91.5%の範囲)であると考えられる。したがって、音圧指示に対して最大速度がこれらの範囲にあるような伝達関数とそのパラメータを選ぶことにより本報告の目的が達成されるものと思われる。

以上の結果から逆に言えば、知能機械の追従運動の最大速度が音圧指示の最大値の91.0~91.5%の範囲にあるような一次遅れ、あるいは二次遅れ要素の伝達関数を採用することが望ましい。これにより、知能機械は人間に心地よく、温和な感じを与え、しかも快活さをもつ運動特性を生成することが可能である。

5. 結 言

人間の音圧指示に協調して、知能機械が人間の身近な環境内にある物体を左右に移動させるヒューマン・知能機械システムを構築する場合、人間に違和感を与えず、人間にとって心理的に好ましい知能機械の運動特性を生成する必要がある。

本報告では、この目的を達成する知能機械の運動特性を生成するために、人間が自由に発声する、言語的意味を持たない声の音圧を入力、知能機械の目標速度を出力とした伝達関数を導入した。そして、伝達関数の違いが人間に与える心理的影響を調べ、目的に合致する伝達関数の形とそのパラメータ値の決定の指針を検討した。

伝達関数として、比例要素、4種類の時定数を持つ一次遅れ要素、減衰係数を1にした4種類の固有振動数を持つ二次遅れ要素を評価対象とした。まず、被験者の音圧指示動作を調べた結果、その音圧変化は小川らの式で近似出来る第一区間、直線で近似出来る第二区間、躍度最小モデルで近似出来る第三区間の三つの区間に分類出来ることが分かった。

次に、9種類の伝達関数に対する人間心理についてSD法を用いて解析した。その結果、人間心理に好ましい運動となるための伝達関数の形、およびそのパラメータ値が存在することがわかった。また、そのときの心理評価の結果がほとんどの形容詞対に対して優れており、採用した伝達関数が有効であることがわかった。伝達関数の形としては、一次遅れ

要素,あるいは二次遅れ要素が好ましく,そのパラメータ値の設定指針としては,追従運動の最大速度が指示運動の最大速度の91.0~91.5%に収まることである。

さらに,因子分析の結果「温和」,「快活さ」,「心地よさ」,「興味」に関する因子が,音圧指示に追従する知能機械の運動に対する人間心理を代表するものであることが明らかになった。また,知能機械が生成する運動特性が人間に心地よさや温和な印象を与え,しかも快活さを有する動きが,本報告で採用した伝達関数で実現可能であることを示した。

本報告では,音圧指示によって知能機械のエンドエフェクタ上の物体を左右に一自由度運動させる場合について注目した。今後は音圧指示によって物体を手元に接近させる場合についても研究を進め,手先による指示を含めた知能機械の左右運動,接近運動における人間心理の体系化を図りたい。そして,実生活の状況も想定して,二次元,三次元の運動についても取り組んでいきたい。さらに将来はこの研究を発展させ,より複雑な構造の知能機械(多自由度ロボットのエンドエフェクタの運動)に応用したいと考えている。

また,知能機械に課せられたタスク,およびエンドエフェクタや対象とする物体の形状等がより複雑化した場合に関する検討も興味深く,今後研究を進めていきたい。

参考文献

- [1] 森下広, 名須川治, 佐藤知正: 患者支援ロングリーチマニピュレータの実現, 第14回日本ロボット学会学術講演会, 81-382, 1996
- [2] 真部靖弘, 服部元史, 田所論, 高森年: ペトリネットによる人間行動パターンモデルと行動予測(行動予測に基づくホームロボットの運動生成を目指して), 日本機械学会論文集, 63, 609, C, 287-294, 1997
- [3] 加藤一郎: リリスポット~生涯支援ロボット~の構想, 日本ロボット学会誌, 11, 5, 614-617, 1993
- [4] 上田昌伸, 渡辺一宏, 村上敬一: 高齢者・障害者用食事運搬自動ロボットシステム, 第17回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 507-508, 1999
- [5] 石井純夫: 四肢障害者のための食事支援ロボット, 日本ロボット学会誌, 16, 3, 306-308, 1998
- [6] 足立佳久, 中西知, 久野義徳, 島田伸敬, 白井良明: 顔の視覚情報処理を用いた知的車椅子, 日本ロボット学会誌, 17, 3, 423-431, 1999
- [7] 伊野智行, 松本吉央, 今井正和, 小笠原司: 顔と視線方向による電動車椅子の走行支援, 第18回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 405-406, 2000
- [8] 勘久保広一, 柴田論, 神代充, 山本智規, 清水顯: 手先の指示に協調するパーソナルロボットの心理的評価, 日本機械学会論文集, 68, 676, C, 239-246, 2002
- [9] 平塚誠良, 梶川伸哉, 大場光太郎, 猪岡光: 音声指示信号による物体の移動位置制御, 第18回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 1091-1092, 2000
- [10] 尾崎文夫, 大明準治, 辰野恭一: 音声によるロボットへの作業指令とビジュアルフィードバック, 東芝レビュー, 56, 9, 1-19, 2001
- [11] 小川鑛一, 森政弘, 平井明樹夫, 土屋謙一郎, 湯原博光: ものの動きに関する感情分析, 人間工学, 25, 4, 243-251, 1989
- [12] 柴田論, 猪岡光: 評定尺度法によるロボット運動の心理的評価, 人間工学, 31, 2, 151-159, 1995
- [13] 柴田論, BENLAMINE Mohamed Sahbi, 田中幹也, 清水顯: ヒトにやさしいロボット運動に関する研究, 日本機械学会論文集, 64, 617, C, 279-287, 1998
- [14] 池浦良淳, 大塚英樹, 猪岡光: 皮膚電気反射に基づくロボット運動の心理的評価, 人間工学, 31, 5, 355-358, 1995
- [15] 山本智規, 柴田論, 神代充, 清水顯: SD法を用いたロボットの人間回避運動の心理的分析, 日本機械学会論文集, 66, 650, C, 142-148, 2000
- [16] 荳坂直行: VDTの表示色, 視野, および明暗順応と眼精疲労の関係について, 人間工学, 21, 2, 89-95, 1985
- [17] 小川鑛一, 森政弘: 物体を持った上肢の速度パターンの実験公式, バイオメカニズム, 5, 121-129, 1980
- [17] Flash, T. and Hogan, N.: The Coordination of Arm Movements, An Experimentally Confirmed Mathematical Model, J.N- eurosciences, 5, 7, 1688-1703, 1985